

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Perancangan *tool* adalah proses rancang bangun alat, metode, dan teknik yang penting untuk meningkatkan efisiensi manufaktur dan produktivitas di bidang perindustrian (Hoffman, 1990). Perancangan alat bantu, metode, dan teknik yang diperlukan untuk memperbaiki efisiensi dan produktivitas suatu proses manufaktur. Berikut ini akan dijelaskan referensi yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas mengenai perancangan kontruksi desain press dies dan perancangan mesin press yang dapat dikaitkan dengan penulisan Tugas Akhir ini. Diantaranya Iseki (2002), Yamashita (2007), Truong (2010), Luo (2010), Sethiadarma (2010), Hanjaya (2013), dan Wijaya (2013), Kulkarni (2013).

Iseki (2002) membahas tentang pembuatan permukaan dinding vertikal dari *shell* persegi panjang menggunakan proses pembentukan multistage secara inkremental dengan rol bola dan silinder. Proses pembentukan multistage inkremental terdiri dari tiga operasi yaitu Bulging dengan rol bola (spherical), pembentukan siku dan pemerataan dengan rol silinder.

Yamashita (2007) membahas tentang simulasi numerik dari pembentukan *sheet metal* secara inkremental. Yamashita menguji penerapan teknik numerikal pada pembuatan *sheet metal* secara inkremental dengan menggunakan kode *dynamic explicit finite element* DYNA3D. Ia melakukan simulasi terhadap *tool path* dan mengamati efeknya pada perilaku deformasi.

Truong (2010) membahas tentang penelitian *Electro-Hydraulic Actuators* (EHAs). EHAs memiliki beragam aplikasi dimana kekuatan atau posisi kontrol dengan akurasi yang tinggi sangat diperlukan. Dari antaranya, tekanan mesin *hybrid* yang diterapkan EHAs lebih banyak digunakan dalam industri berat. Penelitian ini menghasilkan sebuah *Online Smart Tuning Fuzzy PID* (OSTFPID). Berdasarkan pada pendekatan *Robust Extended Kalman Filter* (REKF) untuk pembangunan kontrol kekuatan presisi tinggi dalam tekan mesin.

Yuanxin Luo, Kai He, dan Ruxu Du (2010) membahas tentang pembentukan *sheet metal* baru berdasarkan *incremental punching*. Mereka mengembangkan sistem ISMF baru berdasarkan *incremental punching* dimana sebuah *sheet metal* dibentuk menjadi produk akhir dengan serangkaian hantaman/pukulan kecil secara inkremental. Paper ini terfokus pada teori yang terdiri dari dua bagian. Pertama sebuah model mekanik dikembangkan untuk memprediksi bentuk akhir berdasarkan prinsip energi minimum. Model lainnya dikembangkan untuk memprediksi pendistribusian tegangan dan regangan dari suatu part menggunakan *Inverse Finite Element Modeling* (FEM).

Sethiadarma (2010) membahas tentang perancangan mesin press sampah plastic dengan kapasitas 200 KG/Jam. Metode yang digunakan dalam penelitiannya adalah metode rasional. Hasil rancangan yang didapat yaitu mesin press sampah plastic dengan uji kecepatan mencapai 180 KG/Jam. Dengan total biaya pembuatan mesin Rp. 31.358.000,00.

Hanjaya (2013) membahas tentang perancangan tentang *special lifter with manual handling*. Rancang bangun *lifter* ini dituntut untuk mengangkat beban maksimal 1 ton dengan ketinggian maksimal 7 meter. Tenaga pendorong dari mesin ini menggunakan 2 buah sumber tenaga, tenaga pendorong horizontal dilakukan dengan cara manual handling sedangkan tenaga pendorong vertikal dilakukan dengan tenaga hidrolik. Perancangan ini diawali dengan pemilihan komponen desain, analisis biaya material, analisis biaya proses dan kemudian perancangan produk. *Software* yang digunakan adalah Catia.

Wijaya (2013) membahas tentang perancangan konstruksi dan desain press dies *C Reinforce* dan *Round Reinforce*. Analisis langkah-langkah perancangan *press dies* dan hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam modifikasi *press dies*. Kedua hal ini, yaitu standar perancangan *press dies* dan analisis modifikasi *press dies* akan meningkatkan efisiensi dalam perusahaan manufaktur, dimana desain menjadi pusat dari proses produksi. *Software* yang digunakan adalah AutoCad 2011.

Kulkarni (2013) membahas tentang pengembangan komponen *sheet-metal* dengan pembentukan *die* menggunakan *software* CAE untuk validasi dan perbaikan desain. *Sheet-metal die* merupakan unsur yang tidak dapat dipisahkan dalam proses pengembangan benda-benda otomotif maupun perkakas sehari-

hari. Simulasi dari *software* tersebut akan membantu dalam memperpendek waktu siklus, menyederhanakan proses dan menciptakan *die* yang produktif.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian yang sekarang dilakukan oleh peneliti terfokus pada masalah yang dialami oleh bengkel Metric Solo milik Bp. M.V. Danny Wibowo dalam pembuatan profil daun pintu *sheet metal* yang dikerjakan. Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, maka permasalahan yang akan dibahas adalah merancang mesin *press dan dies* untuk pembuatan daun pintu sheet metal berprofil. Penelitian dilakukan tidak hanya berdasarkan tahap desain tetapi juga berdasarkan perhitungan waktu *machining* dan *assembly* yang saling berkaitan untuk perhitungan jumlah biaya yang diperlukan, termasuk juga penentuan harga jual mesin apabila rancang bangun ini akan dilanjutkan ke tahap pembuatan. Metode yang akan digunakan adalah metode *Design For Manufacturing* (DFM) untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi. Hasil penelitian nantinya akan berupa rancang bangun mesin *press dan dies* yang diharapkan dapat membantu bengkel Metric untuk menyelesaikan masalahnya dalam pembuatan profil daun pintu *sheet metal*. Tabel perbandingan penelitian yang terdahulu dengan yang sekarang akan ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Deskripsi	Iseki (2002)	Yamashita (2007)	Truong (2010)	Luo (2010)	Sethiadarma (2010)	Hanjaya (2013)	Agung (2013)	Kulkarni (2013)	Peneliti Sekarang (2014)
Objek Penelitian	<i>Vertical Wall Surface Forming of Rectangular Shell Using Multistage Incremental Forming with Spherical and Cylindrical Rollers</i>	<i>Numerical Simulation of Incremental Forming of Sheet Metal</i>	<i>Force Control for Press Machines Using an Online Smart Tuning Fuzzy PID Based on a Robust Extended Kalman Filter</i>	<i>A New Sheet Metal Forming System Based on The Incremental Punching, Part 1: Modeling and Simulation</i>	Perancangan Mesin Press Sampah Plastik dengan Kapasitas 200 KG/Jam	Perancangan n Special Lifter with Manual Handling	Perancangan Konstruksi dan Desain Press Dies C Reinforce dan Round Reinforce	<i>Development of a Sheet-Metal Component with a Forming Die Using CAE Software Tools (Hyper form) For Design Validation and Improvement</i>	Perancangan Mesin Press dan Dies Untuk Pembuatan Profil Pintu Sheet Metal.
Gambar Teknik	Ada	Ada	Ada	Ada	Ada	Ada	Ada	Ada	Ada

Tabel 2.1. Lanjutan

Deskripsi	Iseki (2002)	Yamashita (2007)	Truong (2010)	Luo (2010)	Sethiadarma (2010)	Hanjaya (2013)	Agung (2013)	Kulkarni (2013)	Peneliti Sekarang (2014)
Permasalahan yang dihadapi	Baru-baru ini banyak dokumen yang menaruh perhatian pada teknik pembentukan <i>sheet metal</i> secara inkremental seperti <i>hammering, spinning with a bar tool, bulging with a spherical roller, peen forming</i> , dan sebagainya.	Efek <i>toolpath</i> terhadap perilaku deformasi belum pernah didiskusikan. Karena belum adanya artikel yang menuliskan tentang penggunaan praktis dari simulasi numerik, penulis ingin menguji apakah hal ini bisa diterapkan untuk membuat proses produksi lebih efisien.	Saat ini, sistem hidrolik telah dianggap sebagai pilihan yang berpotensi untuk industri modern. <i>Servo Hydraulic Actuators</i> (SHAs) sebelumnya sebagian besar berisi katup kontrol hidrolik sehingga banyak energi yang diubah menjadi panas karena kehilangan <i>throttle</i> (penyumbat) pada katupnya.	Pencetakan <i>sheet metal</i> secara konvensional bersifat sangat efisien namun biayanya tidak efektif untuk <i>batch production</i> dalam skala kecil karena dies mahal dan memakan waktu dalam proses pembuatannya. Beberapa tahun terakhir ISMF menjadi salah satu yang menarik perhatian karena tidak bergantung pada <i>tool</i> khusus, karenanya biayanya menjadi lebih efektif untuk <i>batch production</i> berskala kecil.	Mulai sadarnya manusia akan dampak negatif dari sampah plastik. Dan mulai adanya usaha manusia untuk mendapatkan keuntungan dari sampah dengan adanya usaha daur ulang sampah plastik.	Kesusahan ATMI di area <i>work fabrication</i> dalam melakukan penataan produk di gudang yang dikarenakan oleh keterbatasan lahan. dan perubahan cara peletakan produk dari horizontal menjadi vertikal.	Rancangan desain dari departemen desain seringkali mengalami <i>rework</i> karena terdapat beberapa kesalahan yang kesalahan tersebut akan diketahui setelah <i>machining</i> dan <i>assemblin g</i> .	Industri pembuatan <i>sheet-metal</i> menemui kemajuan teknologi yang mulai memproduksi <i>part</i> yang bersifat kompleks. Sedangkan kemajuan di desain <i>die</i> meningkat lebih lambat. Mereka masih sangat bergantung pada trial-error dan pengalaman tenaga kerja ahli. Hal ini berpengaruh pada waktu siklus untuk pengembangan.	Tidak adanya mesin yang mampu membantu kesusahan bengkel Metric dalam pembuatan pintu <i>sheet metal</i> berprofil.

Tabel 2.1. Lanjutan

Deskripsi	Iseki (2002)	Yamashita (2007)	Truong (2010)	Luo (2010)	Sethiadarma (2010)	Hanjaya (2013)	Agung (2013)	Kulkarni (2013)	Peneliti Sekarang (2014)
Output Penelitian	Pengembangan mesin <i>multistage incremental sheet metal bulging</i> menggunakan rol bola dan silinder.	Pembuktian bahwa perbedaan perilaku deformasi untuk <i>toolpath</i> yang berbeda-beda dapat disimulasikan dengan metode <i>dynamic explicit finite element</i> .	<i>Online Smart Tuning Fuzzy PID</i> (OSTFPID) Berdasarkan pada pendekatan <i>Robust Extended Kalman Filter</i> (REKF)	Hasil modeling dan simulasi : posisi <i>punch</i> bisa diatur oleh mesin CNC dan kepala <i>punch</i> dapat diubah untuk optimisasi produktivitas. Model mekanik yang sekarang dapat memprediksi bentuk akhir dengan efektif, begitu juga dengan pendistribusian regangan dan tegangannya.	Rancang bangun mesin <i>press</i> sampah plastik dengan kapasitas 200 KG/Jam	Rancang bangun <i>special lifter with manual handling</i> .	Rancangan <i>press dies</i> , <i>press dies</i> , dan sampel produk	Hasil simulasi dan analisis komponen dari <i>software</i> CAE.	Rancang bangun mesin <i>press</i> dan <i>dies</i> untuk pembuatan pintu <i>sheet metal</i> berprofil.

2.2. Dasar Teori

Proses penelitian pembuatan skripsi tentang rancang bangun mesin *press* dan *dies* ini ditujukan untuk mengatasi masalah yang dialami bengkel Metric Solo. Penelitian ini menggunakan teori-teori yang sudah ada dan telah dikembangkan agar sesuai dengan proses perancangan.

2.2.1. Perancangan *Tool*

Perancangan *tool* adalah proses rancang bangun alat, metode, dan teknik yang penting untuk meningkatkan efisiensi manufaktur dan produktivitas manufaktur. Perancangan menyediakan mesin dan alat-alat khusus yang dibutuhkan untuk memenuhi tuntutan produksi yang cepat dan bervolume tinggi. Hal tersebut terjadi pada tingkatan kualitas dan ekonomis yang akan menjamin biaya produksi tetap bisa bersaing. Proses ini merupakan proses yang fleksibel, selalu berubah dan berkembang sesuai kreatifitas proses penyelesaian masalah, karena tidak ada alat atau proses yang mampu melakukan semua jenis kegiatan produksi (Hoffman, 1990).

Tujuan utama dari perancangan *tool* adalah untuk menurunkan biaya manufaktur sementara tetap menjaga tingkat kualitas serta meningkatkan volume produksi. Untuk mencapai hal tersebut, desainer *tool* harus bisa memenuhi kriteria berikut:

- a. Menyediakan *tool* yang sederhana dan mudah dioperasikan agar dapat memaksimalkan penggunaannya.
- b. Memproduksi *part* dengan biaya serendah mungkin untuk mengurangi biaya manufaktur.
- c. Merancang *tool* yang mampu memproduksi *part* berkualitas tinggi secara konstan.
- d. Menaikkan tingkat produksi dengan peralatan yang sudah ada.
- e. Merancang *tool* sedemikian rupa agar mudah dipahami cara penggunaannya sehingga mencegah terjadinya kesalahan penggunaan.
- f. Memilih material yang akan memberikan umur pakai yang memadai.
- g. Mempertimbangkan faktor keamanan *tool* demi keselamatan operator.

Keberhasilan industri manufaktur di kancah internasional tergantung dari kesuksesan *concurrent engineering*. *Concurrent engineering* adalah proses yang

memperbolehkan tim desain *tool* untuk berpartisipasi dalam seluruh proses perancangan produk sehingga pengetahuan tim mengenai alat bantu dan proses manufaktur akan mengurangi kesalahan pada desain produk. Tim *concurrent engineering* setidaknya terdiri dari desainer produk, *engineer* PPIC, desainer *tool*, *engineer* QC, manajemen produksi, dan teknisi mesin.

2.2.2. Definisi dan Klasifikasi Mesin Press

Theryo (2009) menyatakan bahwa mesin *press* merupakan mesin yang dipakai untuk memproduksi barang-barang *sheet metal* menggunakan satu atau beberapa *press dies* dengan meletakkan *sheet metal* di antara *upper* dan *lower dies*. Mesin *press* dan mekanismenya akan menggerakkan *slide (ram)* yang diteruskan ke *press dies* dan mendorong *sheet metal* sehingga dapat memotong (*cutting*) serta membentuk (*forming*) *sheet metal* tersebut sesuai dengan fungsi *press dies* yang digunakan. Ketelitian dari produk yang dihasilkan akan sangat tergantung dari kualitas dari *press dies* dan *sheet metal*, tetapi kecepatan produksi tergantung pada kecepatan turun-naik dari *slide (ram)* dari mesin *press* atau sering disebut SPM *stroke per minute*.

Mesin *press* dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi berdasarkan jenis tenaga penggerak dari *slide*, yaitu:

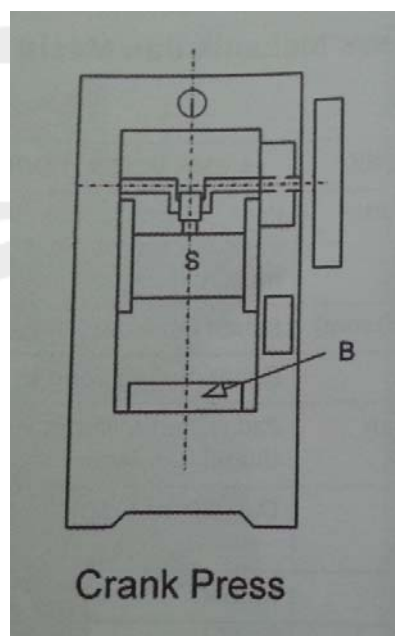
- a. *Mechanical press*, mesin *press* dengan mekanisme penggerak turun-naik dari *slide (ram)* dengan mekanisme *crank shaft*, *eccentric shaft*, *cam* dan *knuckle*.
- b. *Hydraulic press*, mesin *press* dengan mekanisme penggerak turun-naik dari *slide (ram)* dengan digerakan langsung oleh gerakan piston silinder dari sistem *hydraulic*.

Tabel 2.2. Perbandingan Kinerja Mesin Press Mekanik dan Hidrolik

Kinerja	Mekanik	Hidrolik
Kecepatan produksi	Lebih cepat	Lebih Lambat
Panjang langkah	Pendek (600-1000 mm)	Lebih panjang
Mengubah panjang langkah	Pada umunya sulit	Dapat diubah dengan mudah
Menentukan titik mati bawah	Dapat ditentukan dengan tepat	Pada umunya tidak dapat ditentukan dengan tepat
Pengaturan kecepatan tekanan	Tidak dapat diatur	Dapat diatur dengan mudah
Pengaturan gaya penekanan	Sulit	Mudah
Penahanan gaya penekanan	Tidak dimungkinkan	Mudah
Press overloading	Dapat terjadi	Tidak dimungkinkan
Kemudahan perawatan	Lebih mudah	Diperlukan waktu yang lebih lama terlebih saat terjadi kebocoran
Kapasitas penekanan maksimum	6.000 tonf (<i>sheetmetal forming</i>) 11.000 tonf (<i>forging press</i>)	70.000-200.000 tonf

a. Klasifikasi Mesin Press Berdasarkan Mekanisme yang Digunakan

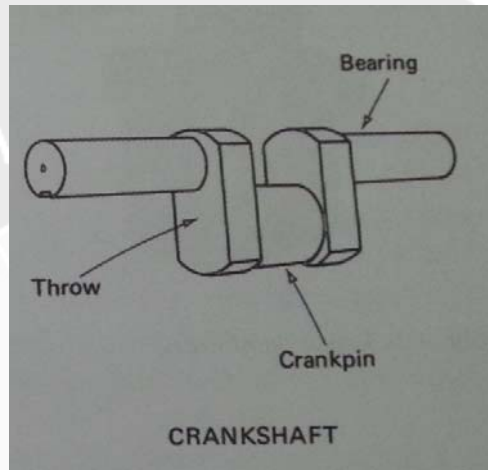
i. Crank Press



Gambar 2.1. Crank Press (Theryo, 2009, hal 48)

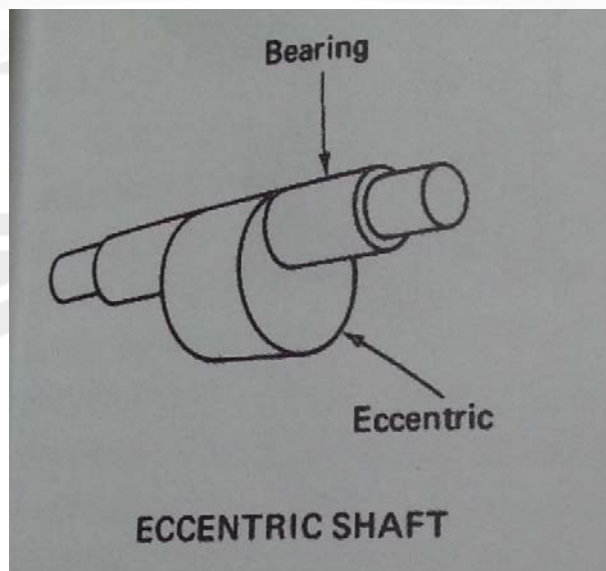
Mesin *press* yang mekanismenya menggunakan penggerak dari *slidenya* menggunakan *crank shaft* atau *eccentric shaft*. Mesin *press* tipe ini dapat digunakan untuk berbagai proses pembentukan dan pemotongan *sheet metal*, misalnya *blanking*, *stamping*, *forming*, dan *drawing*.

1. *Crank Shaft*



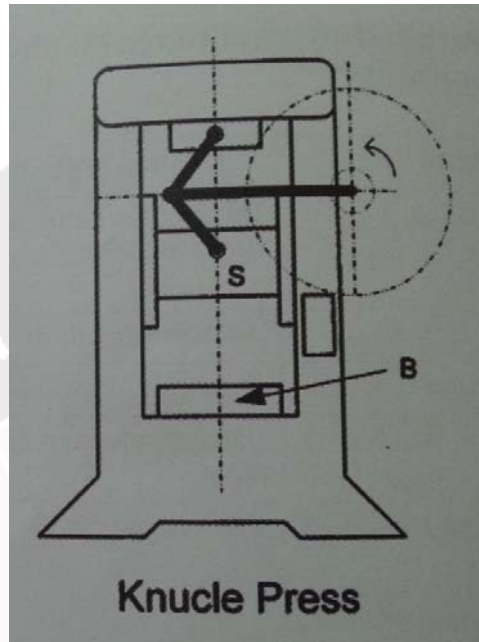
Gambar 2.2. *Crank Shaft* (Theryo, 2009, hal 45)

2. *Eccentric Shaft*



Gambar 2.3. *Eccentric Shaft* (Theryo, 2009, hal 45)

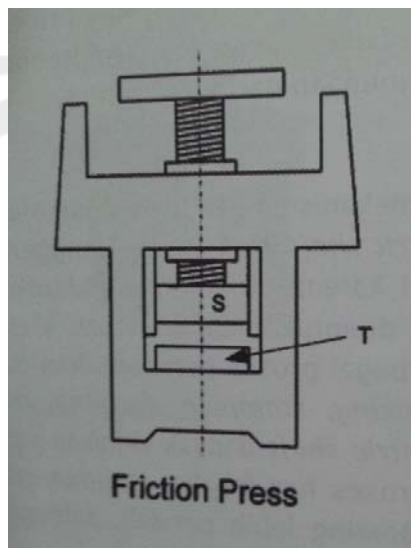
ii. *Knuckle Press*



Gambar 2.4. *Knuckle Press* (Theryo, 2009, hal 48)

Jenis mesin *press* yang mekanismenya menggunakan mekanisme *knuckle*. Dibandingkan dengan *crank press* kecepatan *slidenya* jauh lebih rendah, namun titik mati bawah dapat ditentukan dengan tepat seperti pada *crank press*.

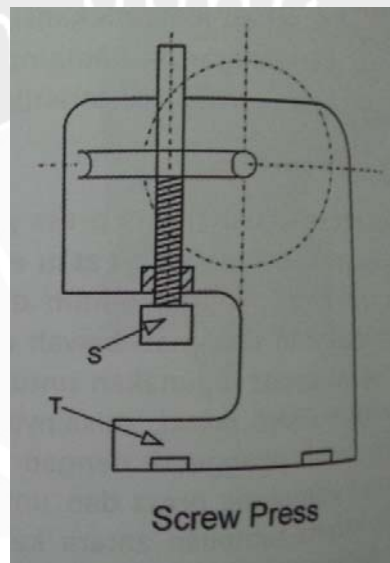
iii. *Friction Press*



Gambar 2.5. *Friction Press* (Theryo, 2009, hal 48)

Mesin *press* yang mekanisme penggerak dari *slide* menggunakan *screw*. Agar *screw* dapat menahan beban yang besar maka digunakan ulir trapesium. Mesin ini dioperasikan dengan cara memutar piringan yang terhubung dengan mekanisme penggerak. Mesin yang sederhana sehingga pembuatannya mudah dan murah namun mesin ini agak langka dan tidak presisi.

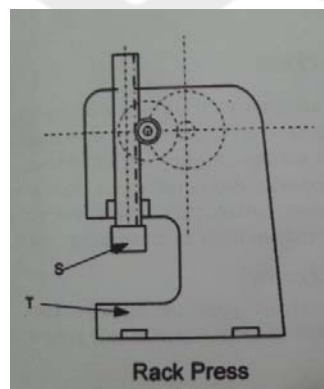
iv. *Screw Press*



Gambar 2.6. *Screw Press* (Theryo, 2009, hal 48)

Mesin *press* yang mekanismenya adalah roda gigi cacing (*worm gear*) yang menggerakkan cacing (*worm*) sebagai bagian dari *slide* mesin.

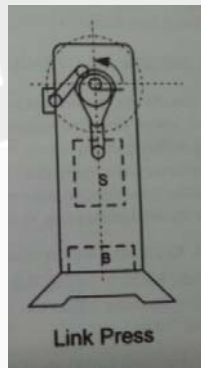
v. *Rack Press*



Gambar 2.7. *Rack Press* (Theryo, 2009, hal 49)

Mesin *press* yang menggunakan mekanisme penggerak roda gigi (*pinion*) yang menggerakkan bagian dari *slide* yang menyatu dengan *rack*. Mesin *press* yang kurang efektif untuk kebutuhan produksi massal. Kalaupun dipakai hanya untuk kebutuhan penunjang *maintenance*, seperti pemasangan *bushing*, *bearing*, atau *roll*.

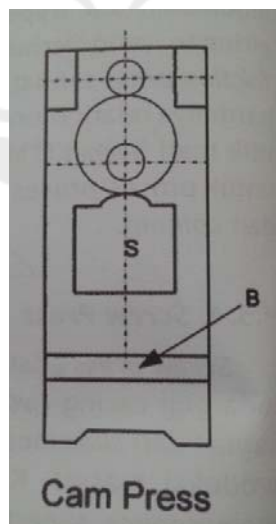
vi. Link Press



Gambar 2.8. Link Press (Theryo, 2009, hal 49)

Mesin *press* yang mekanisme penggeraknya menggunakan berbagai *link* (penghubung) untuk mengurangi *cycle time* pada proses *drawing* sehingga dapat mempertahankan kecepatan produksi.

vii. Cam Press



Gambar 2.9. Cam Press (Theryo, 2009, hal 50)

Mesin *press* yang mekanisme penggerakannya menggunakan *cam*. Mesin tipe ini bisa menggunakan satu *cam* atau banyak *cam* yang setiap *cam*-nya bekerja secara individual. Panjang *stroke* dari *cam press* terbatas dan kapasitas mesinnya kecil.

b. Klasifikasi Mesin Press Berdasarkan Jumlah Gerakan Slide Mesin

i. Single Action

Mesin *press* ini hanya memiliki gerakan *slide* tunggal. Mesin *press* ini biasa digunakan untuk proses *blanking*, *embossing*, *coining* dan *drawing*. Kadang-kadang diperlukan tekanan pneumatik pada *die cushion* untuk menjepit material (*blank holder pressure*) selama proses *drawing*.

ii. Multiple Action

Mesin *press* ini memiliki lebih dari satu *slide*. *Slide* bagian luar biasanya berongga dan berfungsi sebagai penekan (*punch*). Mesin ini cocok untuk proses *drawing*.

c. Klasifikasi Mesin Press Berdasarkan Arah Gerakan Cetakan

Klasifikasi mesin *press* berdasarkan arah gerakan ada tiga, yaitu:

- a. Vertical
- b. Horizontal
- c. Oblique

2.2.3. Press Dies

Press dies adalah salah satu dari sekian banyak *tool* atau cetakan yang berfungsi untuk memotong (*cutting*) dan membentuk (*forming*) material *sheet* metal (plat baja), aluminium *sheet* (plat aluminium), *stainless steel* (plat baja tahan karat), berbagai pipa dan baja pejal.

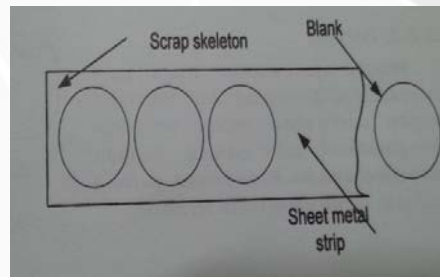
Sehingga hasil akhirnya menjadi suatu produk yang kita sebut sebagai *sheet metal product*. Proses memotong dan membentuk tersebut dilakukan dengan mempergunakan mesin *press* sehingga dapat dihasilkan produk *sheet metal* (*sheet metal product*) dengan jumlah yang besar (*mass product*) dan kualitas yang konsisten.

2.2.4. Jenis-Jenis Proses Pengerjaan *Sheet Metal*

a. Pemotongan (*Cutting*)

Pemotongan (*cutting*) adalah proses memisahkan *steel metal* atau material lainnya sehingga bentuk yang baru tetap rata. Proses pemotongan pada *sheet metal* mempunyai banyak tujuan, sesuai dengan fungsi dari proses pemotongan tersebut yang spesifik, maka istilah pemotongannya juga berbeda-beda agar tidak terjadi salah pengertian. Istilah dari berbagai proses pemotongan tersebut adalah sebagai berikut.

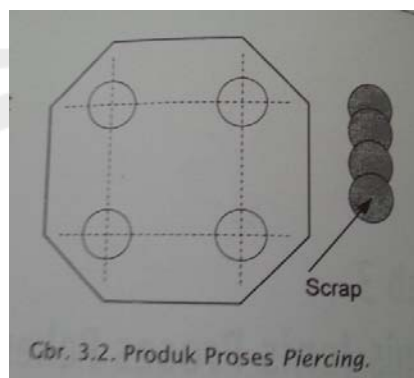
i. *Blanking*



Gambar 2.10. Produk Proses *Blanking* (Theryo, 2009, hal 33)

Proses pemotongan *sheet metal* untuk mendapatkan hasil potongan (*blank*), sisa potongan akan terbuang sebagai *scrap* atau dinamakan *scrap skeleton*.

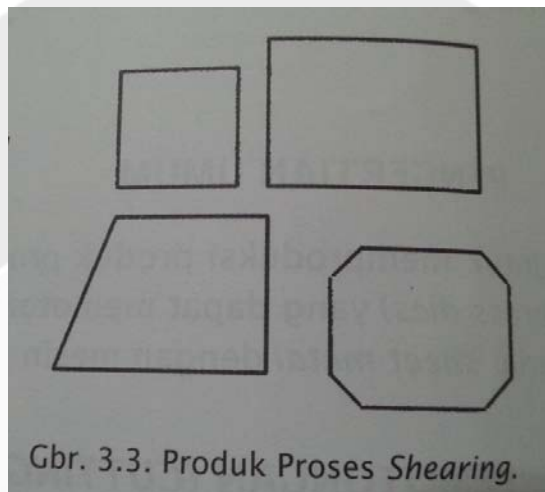
ii. *Piercing*



Gambar 2.11. Produk Proses *Piercing* (Theryo, 2009, hal 34)

Proses pemotongan *sheet metal* untuk membuat lubang pada permukaan yang rata ataupun kontur. Lubang yang dihasilkan bias berbentuk bulat atau bentuk lainnya, tergantung pada bentuk *punch*. Pada proses *piercing* terdapat *scrap*.

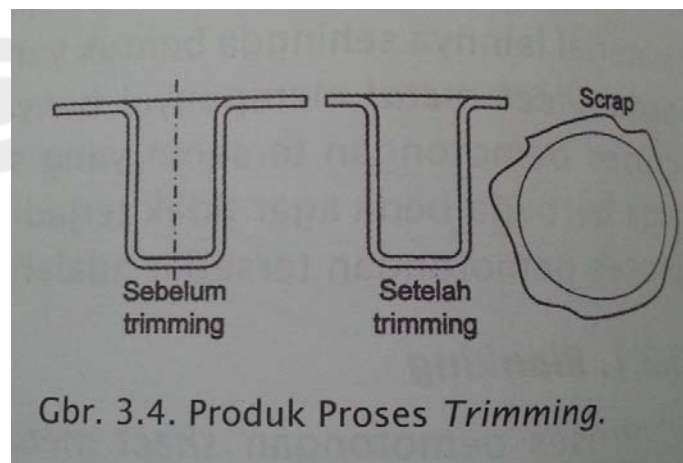
iii. *Shearing*



Gambar 2.12. Produk Proses *Shearing* (Theryo, 2009, hal 34)

Proses pemotongan *sheet metal* lembaran atau gulungan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dilakukan dengan *shear cutting machine*. Hasil potongan akan menjadi material untuk proses selanjutnya, misalnya proses *drawing* atau *forming*.

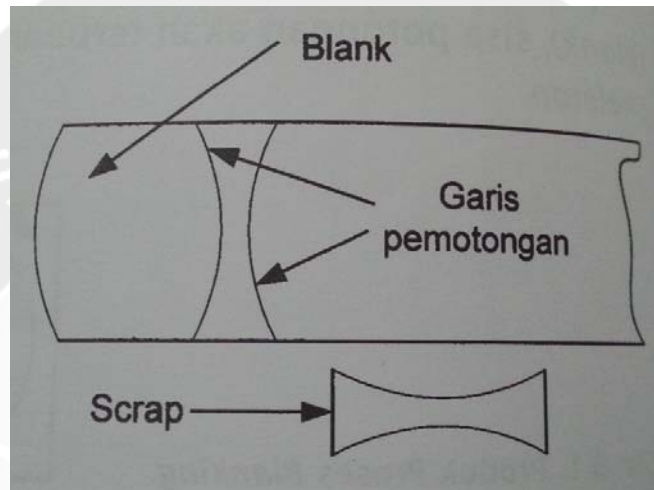
iv. *Trimming*



Gambar 2.13. Produk Proses *Trimming* (Theryo, 2009, hal 34)

Proses pemotongan bagian yang tidak diperlukan dari proses *drawing* atau *forming* untuk mendapatkan ukuran akhir. Proses *trimming* akan meninggalkan bagian yang tidak berguna atau scrap.

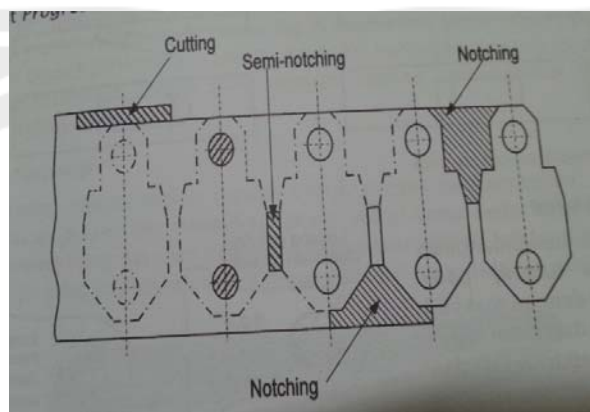
v. *Parting*



Gambar 2.14. Produk Proses *Parting* (Theryo, 2009, hal 34)

Proses memisahkan suatu *part* menjadi 2 (dua) bagian atau beberapa bagian dari *sheet metal* sehingga menghasilkan *part* sesuai dengan yang dikehendaki. Pada proses *parting* terdapat *scrap* yang tidak terpakai.

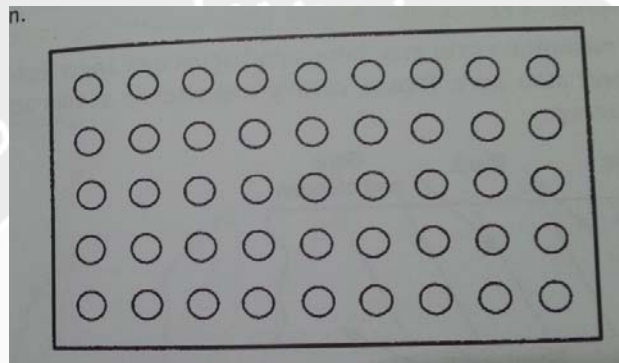
vi. *Notching* dan *Semi-Notching*



Gambar 2.15. Proses *Notching* dan *Semi-Notching* (Theryo, 2009, hal 35)

Proses pemotongan pada bagian tepi lembaran material dari suatu proses yang berurutan (*progressive*) untuk membentuk *part*. Dengan pemotongan tersebut, part berangsur akan terbentuk. *Press dies* yang terdiri dari banyak proses yang berurutan untuk membentuk suatu *part* disebut *progressive dies*.

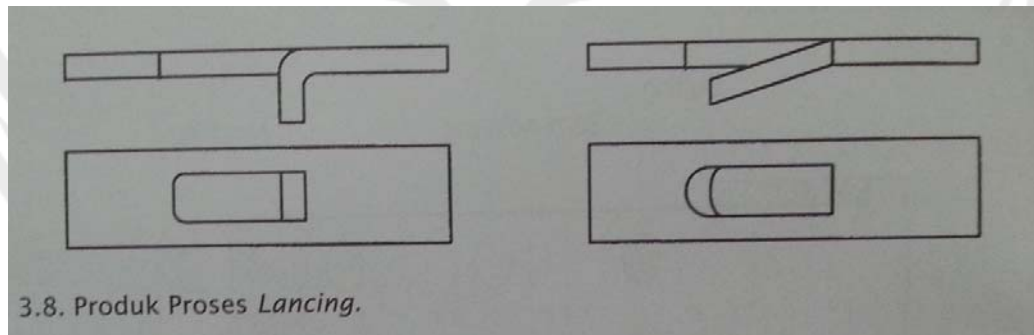
vii. **Perforating**



Gambar 2.16. Produk Proses *Perforating* (Theryo, 2009, hal 35)

Proses membuat banyak lubang secara berulang-ulang pada *sheet metal*. Lubang-lubang tersebut bisa sebagai dekorasi, bagian dari saluran gas atau cairan.

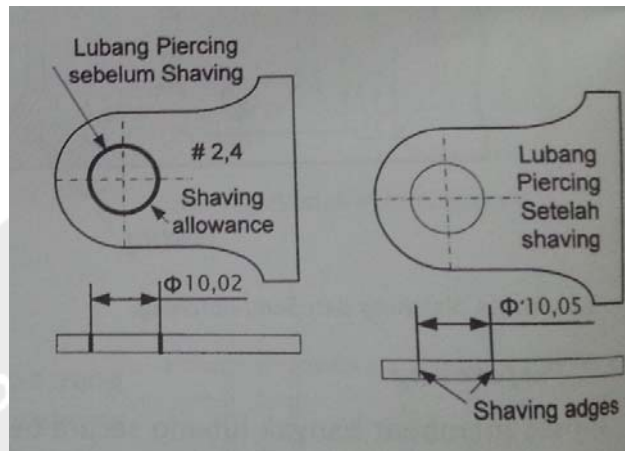
viii. **Lancing**



Gambar 2.17. Produk Proses *Lancing* (Theryo, 2009, hal 36)

Proses pemotongan sebagian dari suatu *part* yang secara serentak juga terjadi proses *bending*. Salah satu tujuan proses ini adalah untuk ventilasi udara. Pada proses *lancing* tidak terbentuk scrap. *Lancing* atau *Lancing* atau disebut juga *semi notching*.

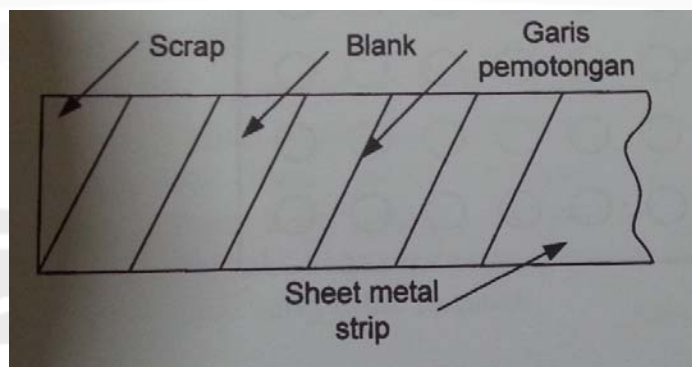
ix. Shaving



Gambar 2.18. Produk Proses Shaving (Theryo, 2009, hal 36)

Proses menghilangkan *burr* dari lubang pada suatu *part* dengan maksud untuk mendapatkan ukuran yang lebih teliti dan halus. Pada proses *shaving* hampir tidak terjadi pemotongan; dilakukan pada *part* yang tebal dan tanpa *clearance* antara *punch* dan *die*.

x. Cutting



Gambar 2.19. Produk Proses Cutting (Theryo, 2009, hal 36)

Proses pemotongan satu atau beberapa bagian dari *sheet metal* atau potongan *steel sheet* atau *part*. Proses *cutting* menyisakan sedikit *scrap* tetapi bisa tanpa *scrap*.

b. Pembentukan (*Forming*)

Proses *forming* adalah proses pembentukan *sheet metal*. Pada proses *forming* (pembentukan) juga banyak menggunakan istilah-istilah yang membedakan fungsi atau tujuan dari proses tersebut agar tidak termasuk proses *forming*, tetapi dibahas menjadi proses *drawing* di dalam kelompok proses *forming*. Namun, proses *forming* ini cukup kompleks, sehingga menjadi topik pembahasan tersendiri. Istilah dari berbagai proses pembentukan tersebut adalah sebagai berikut.

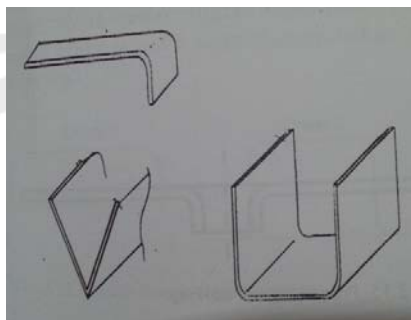
i. *Forming*



Gambar 2.20. Produk Proses *Forming* (Theryo, 2009, hal 37)

Forming adalah istilah umum untuk suatu pembentukan. *Forming* merupakan proses pembentukan *sheet metal* yang sederhana atau proses *drawing* yang dangkal tanpa menggunakan *blank holder*. Kontur pada proses *forming* adalah produk 3D (tiga dimensi) yang tidak beraturan.

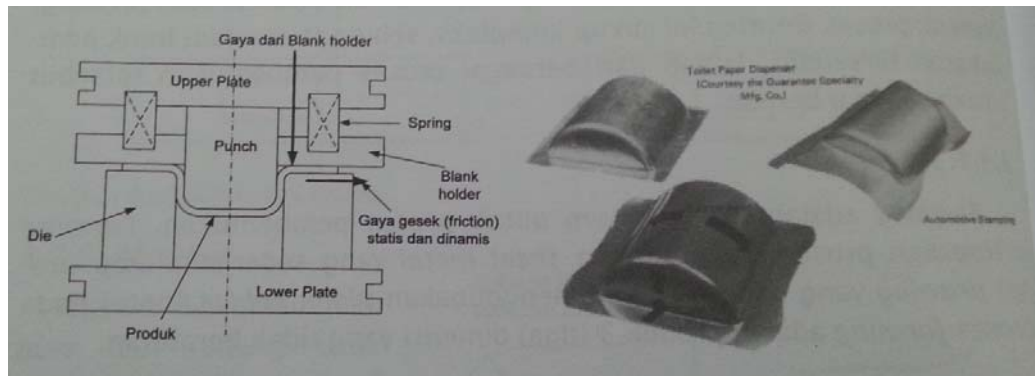
ii. *Bending*



Gambar 2.21. Produk Proses *Bending* (Theryo, 2009, hal 37)

Bending adalah proses pembentukan *sheet metal* yang lurus. Terdapat 3 jenis proses *bending*, yaitu *V-bend*, *L-bend*, dan *U-bend*.

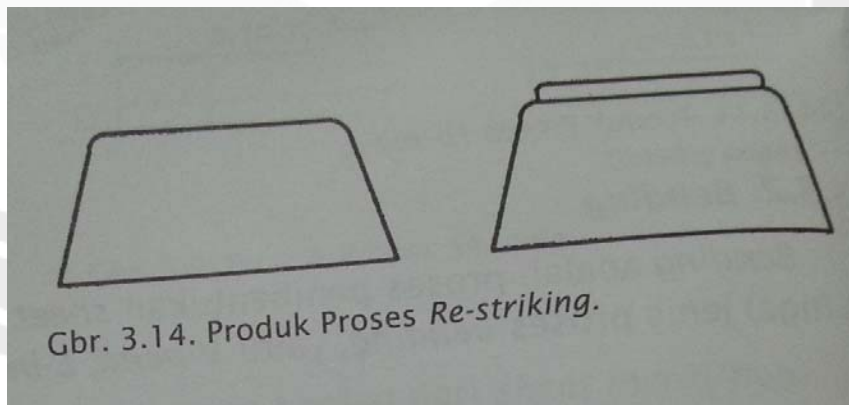
iii. *Drawing*



Gambar 2.22. Produk Proses *Drawing* (Theryo, 2009, hal 38)

Drawing adalah proses pembentukan *sheet metal* yang dalam dan konturnya kompleks sehingga membentuk *blank holder* dan *air cushion/spring* untuk mengontrol aliran dari material serta diperlukan *bead* atau tahanan untuk menahan aliran material yang terlalu cepat. Untuk menghasilkan produk yang baik, maka harus menggunakan *sheet metal* khusus proses *drawing* dan mesin *press* hidrolik.

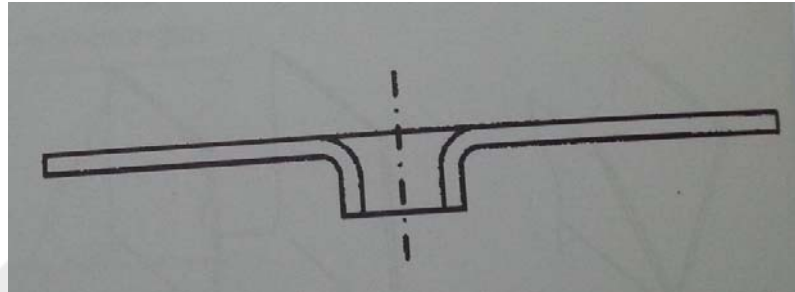
iv. *Re-Striking*



Gambar 2.23. Produk Proses *Re-Striking* (Theryo, 2009, hal 38)

Re-Striking adalah proses lanjutan dari proses *drawing* untuk menyempurnakan bentuk *part* agar tercapai bentuk akhir yang diminta. Proses ini hanya dilakukan pada bagian tertentu.

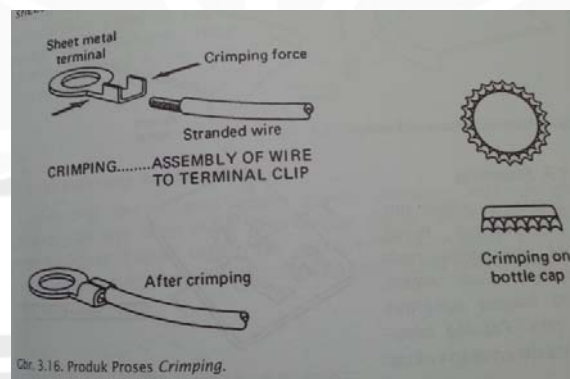
v. *Burring*



Gambar 2.24. Produk Proses *Burring* (Theryo, 2009, hal 38)

Burring adalah proses pembentukan *flange* pada lubang *part* dari *sheet metal*. *Flange* pada lubang dapat berfungsi sebagai penguat atau untuk membuat ulir pengikat. Untuk *sheet metal* yang tipis proses *burring* dan *piercing* dapat bersamaan dengan satu *punch*. Proses *burring* juga disebut *hole flanging*.

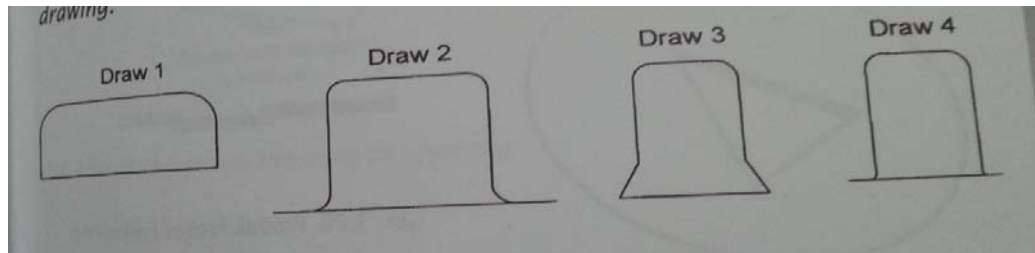
vi. *Crimping*



Gambar 2.25. Produk Proses *Crimping* (Theryo, 2009, hal 39)

Crimping adalah proses *bending* untuk menyatukan atau merakit kabel listrik dengan kepala terminal yang terbuat dari *brass sheet* atau *copper sheet*.

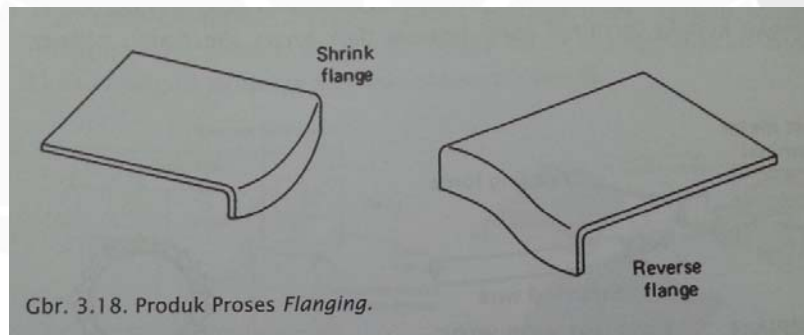
vii. Deep Drawing



Gambar 2.26. Produk Proses Deep Drawing (Theryo, 2009, hal 39)

Deep Drawing adalah proses *drawing* yang dalam sehingga memerlukan beberapa kali proses *drawing* untuk mendapatkan bentuk dan ukuran akhir. *Blank-Holder* mutlak diperlukan dan hanya dapat diproses pada mesin *press* hidrolik serta menggunakan *sheet metal* khusus untuk *deep drawing*.

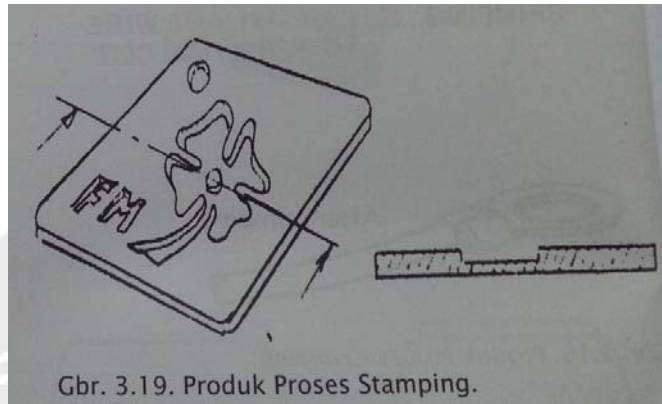
viii. Flanging



Gambar 2.27. Produk Proses Flanging (Theryo, 2009, hal 40)

Flanging adalah proses membentuk bagian tepi *part* dari *sheet metal* yang tidak lurus. Tujuan proses *flanging* adalah untuk memperkuat bagian tepi dari *part* tersebut atau untuk faktor keindahan.

ix. *Stamping*

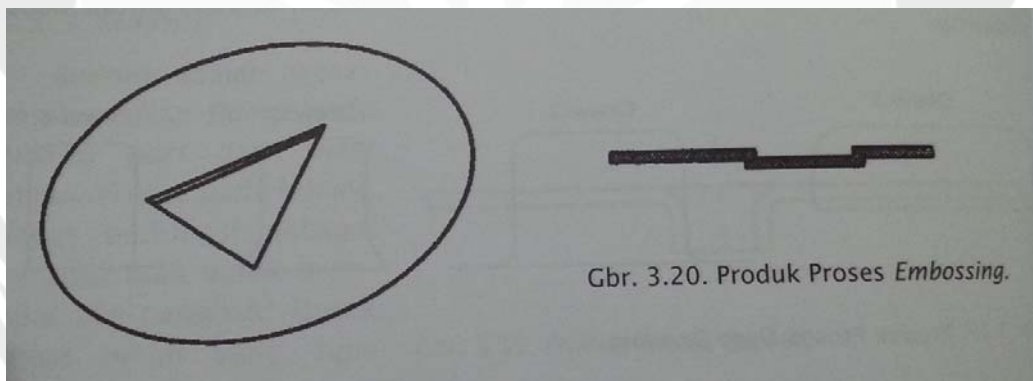


Gbr. 3.19. Produk Proses Stamping.

Gambar 2.28. Produk Proses *Stamping* (Theryo, 2009, hal 40)

Stamping adalah proses membentuk huruf, simbol, atau lainnya pada permukaan *sheet metal*, dimana bagian dasarnya tetap rata. *Pressing capacity* yang diperlukan cukup besar.

x. *Embossing*

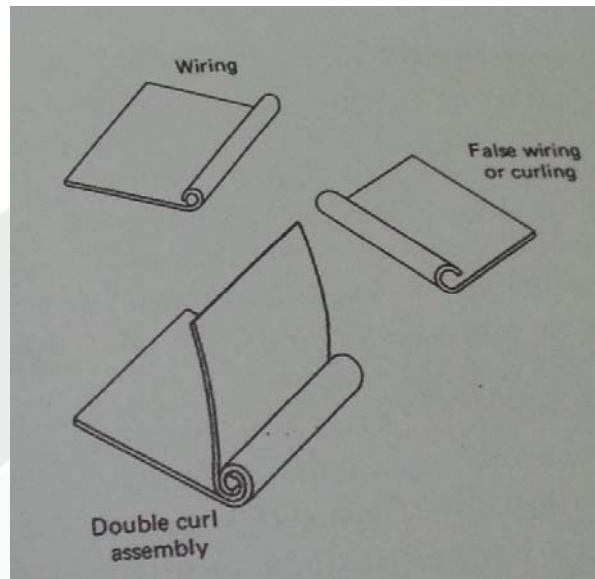


Gbr. 3.20. Produk Proses *Embossing*.

Gambar 2.29. Produk Proses *Embossing* (Theryo, 2009, hal 40)

Embossing adalah proses pembentukan (*forming*) *part* dari *sheet metal* untuk dekorasi, misalnya membuat tanda-tanda lalu lintas, *rib* untuk penguat produk. Bagian dasar dari *part* ikut terbentuk.

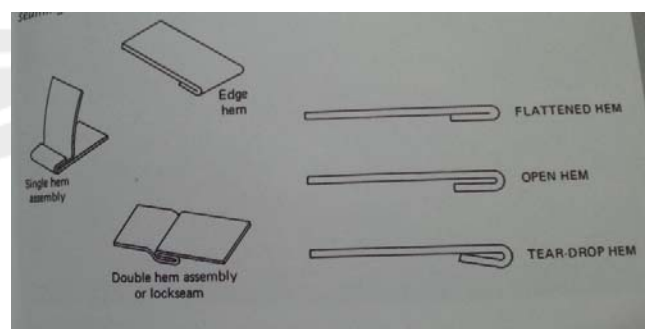
xi. *Curling dan Wiring*



Gambar 2.30. Produk Proses *Curling dan Wiring*
(Theryo, 2009, hal 41)

Curling adalah proses pengerolan *sheet metal part* yang lurus dan bulat dengan tujuan untuk memperkuat bagian tepi dari part tersebut atau agar supaya tidak tajam. Apabila ditambahkan kawat di bagian dalam dari gulungan, maka dinamakan proses *wiring*, agar *part* menjadi lebih kuat.

xii. *Hemming dan Seaming*

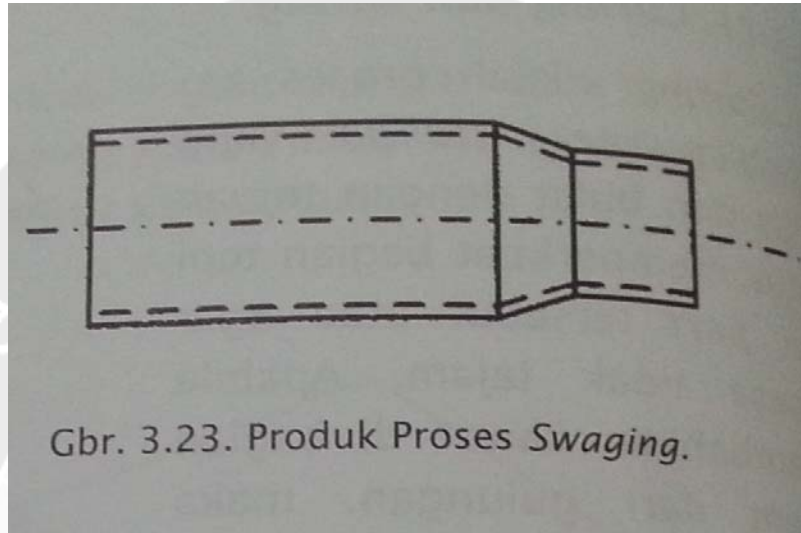


Gambar 2.31. Produk Proses *Hemming dan Seaming*
(Theryo, 2009, hal 41)

Hemming dan Seaming adalah proses pelipatan atau (*forming*) pada bagian tepi *sheet metal part* dengan tujuan untuk memperkuat, menghilangkan bagian tajam,

dan untuk estetika. Apabila proses ini untuk menyambung dua *part* agar menjadi satu, maka prosesnya disebut *Seaming*.

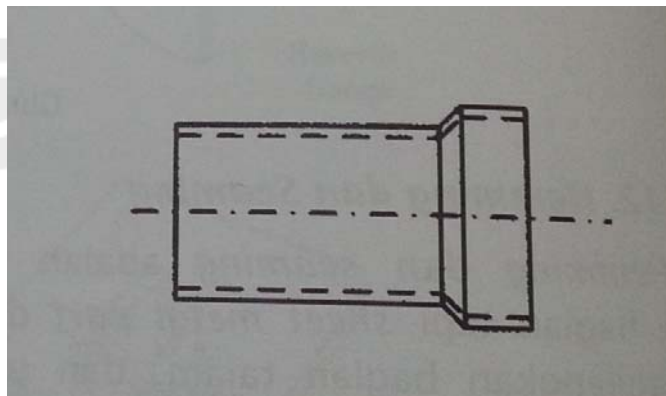
xiii. *Swaging*



Gambar 2.32. Produk Proses *Swaging* (Theryo, 2009, hal 42)

Swaging adalah proses pembentukan (*forming*) *part* dari pipa dengan tujuan untuk memperkecil diameter pipa dari diameter asalnya. Proses ini memerlukan mesin khusus yang disebut *Swaging Machine*.

xiv. *Expanding*



Gambar 2.33. Produk Proses *Expanding* (Theryo, 2009, hal 42)

Expanding adalah proses pembentukan (*forming*) *part* dari pipa dengan tujuan untuk memperbesar diameter pipa dari diameter asalnya. Untuk mencapai dimensi yang

dikehendaki kadang-kadang memerlukan beberapa proses *expand*. Apabila diproses dengan mesin hidrolik, maka umurnya akan lebih panjang.

2.2.5. Mesin Press

Mesin *press* adalah mesin yang dipakai untuk memproduksi barang-barang *sheet metal* menggunakan satu atau beberapa *press dies* dengan meletakkan *sheet metal* di antara *upper dies* dan *lower dies*.

a. Spesifikasi Utama Mesin Press

i. Kapasitas Mesin

Pada katalog sering ditulis sebagai *pressure capacity*, yang merupakan besar kapasitas penekanan (*pressing*) dari mesin yang diukur dengan *Tonf*.

$$F = A \times \sigma_B \times \alpha \quad (2.1)$$

Diketahui:

F = Gaya (N)

A = Luasan potong (mm²)

σ_B = Batas patah Tarik (N/mm²)

α = presentasi penetrasi (%)

ii. Panjang Langkah (Stroke Length)

Stroke length atau panjangnya langkah mesin merupakan perbedaan jarak antara kedua *center crankshaft*. Panjang *stroke* untuk proses *blanking* berkisar antara 10-75 mm dan panjang *stroke* untuk proses *drawing* seharusnya sekitar 2,5 kali dari kedalaman *drawing*.

iii. Jumlah Stroke per Menit (SPM)

Semakin tinggi nilai SPM, maka kecepatan produksi akan menjadi lebih tinggi pula.

$$V_d = \pi \cdot S \cdot n \quad (2.2)$$

Keterangan:

Vd = *Drawing speed* (m/menit)

S = panjang stroke (m)

n = jumlah stroke per minute (SPM).

Drawing speed pada umumnya adalah 18 m/menit, tetapi dengan perbaikan dari material *steel sheet*, *lubricant* (pelumas), dan *die design*, *drawing speed* menjadi sekitar 25-30 m/menit.

iv. Die Height (Maximum)

Die height adalah jarak antara *slide* dan *bolster* yang diukur pada posisi *adjustment* yang tertinggi dan posisi *stroke* paling rendah. Kemudian, jarak antara *slide* dan meja mesin disebut *Shut height*.

v. Bolster Area

Ukuran *bolster* menjadi penentu ukuran *press dies* atau sejumlah *dies* yang dapat dipasang pada mesin *press*. *Press Dies* (cetakan) diikat pada *T-slot* dari *bolster* mesin dengan sistem *clamping* atau baut. Mesin *press* dengan kapasitas tertentu mempunyai *T-slot* dengan jumlah, jarak, dan ukuran yang berbeda. *Bolster* biasanya terbuat dari material *FerroCasting* (FC) dan pada bagian tengah terdapat lubang bulat atau persegi yang dapat dipakai untuk lubang jatuhnya *scrap* atau produk ke bawah mesin. *Bolster* juga dilengkapi lubang - lubang bulat untuk *cushion pin* pada proses *drawing*.

vi. Slide Area

Ukuran dari *slide* mesin *press* menentukan ukuran *upper plate* dari *press dies* (cetakan) yang dapat diikat. *Slide* mesin mempunyai *T-slot* dengan jumlah, jarak, dan ukuran yang berbeda untuk mesin yang berbeda kapasitasnya. Karena itu, spesifikasi *slide* mesin *press* diperlukan pada saat merancang *press dies*.

vii. Slide Adjustment

Slide adjustment pada umumnya sangat terbatas dan hanya dilakukan untuk kasus tertentu, supaya tidak membuang waktu untuk setiap kali akan memasang *dies* pada mesin *press*. *Die height* untuk setiap mesin pada umumnya sudah distandarisasi yang akan digunakan sebagai patokan untuk merancang *dies*.

viii. Electric Motor

Electric motor yang digunakan pada umumnya adalah AC motor 3 fase, yang besarnya memberikan indikasi besarnya kekuatan dari mesin *press* tersebut. Pada mesin *press* mekanik, motor akan memutar *flywheel* dari mesin *press*. Selanjutnya, dengan mekanisme *clutch* (kopling) akan memindahkan gerakan berputar ke *crankshaft* yang akan menggerakkan *slide* mesin. Pada mesin *press* hidrolik, motor berfungsi untuk menggerakkan pompa hidrolik yang akan mengalirkan oli ke silinder hidrolik yang kemudian menggerakkan piston sehingga *slide* mesin bergerak turun naik.

ix. Die Cushion

Adalah suatu mekanisme yang terletak di bawah *bolster* mesin *press* yang digunakan khususnya pada proses *drawing* untuk mencegah terbentuknya kerutan (*wrinkles*), yang komponen utamanya adalah silinder dan piston yang pada umumnya dijalankan dengan sistem *pneumatic*. *Cushion* akan berfungsi setelah dialiri angin dengan tekanan 4-5 kgf ke dalam silinder dan selanjutnya akan menggerakkan *cushion pin* dari *blank holder* dari *dies*. *Die cushion* juga ada yang menggunakan sistem *hydro-pneumatic*.

b. Sistem Loading/Feeding Material

Dalam proses produksi yang menggunakan *press dies* untuk membuat *sheet metal parts* akan berhubungan dengan material yang berupa *strip steel sheet*, *coiled* (gulungan) *steel sheet*, pipa, dan bar. Material-material tersebut harus dijaga kondisinya dan disiapkan dengan baik agar tidak rusak sebelum diproses. Misalnya terjadi karatan dan goresan pada permukaan material. Pada waktu dilakukan proses produksi, material-material yang akan dicetak tersebut harus di-*loading* pada *press dies* yang sudah dipasang pada mesin *press*. Untuk mekanisme *loading* material itu sendiri dibedakan menjadi 2(dua) jenis yaitu mekanisme untuk material *coil* (gulungan) dan *sheet* (lembaran).

i. Mekanisme Feeding Sheet Metal dalam Bentuk Coil

1. Mekanisme Reels

Dalam melepas gulungan *sheet metal* untuk kemudian dicetak dalam *press dies* dapat menggunakan *reels*. *Reels* akan memegang bagian dalam *coil*, kemudian

berputar untuk melepas gulungan *sheet metal* tersebut. Mekanisme *reels* ini dapat atau tidak menggunakan motor listrik. Untuk mengendalikan aliran *sheet metal*, digunakan lengan *roller* yang akan menghidupkan atau mematikan *switch* motor listrik pada saat diperlukan. Penggunaan metode ini baik untuk produk yang permukaannya tidak boleh cacat.

2. Mekanisme *Direct-Linkage Rool Feeds*

Mekanisme ini dipakai pada mesin *press* yang agak kecil dan dipasang langsung pada mesin *press*. Gerakan dari mekanisme ini didapat langsung dari gerakan *crankshaft* mesin.

3. Mekanisme *Cam Feed Rolls*

Mekanisme ini menggunakan *rollers* yang berputar hanya satu arah. Posisi *sheet metal* diam, sementara *rollers* bergerak ke satu arah sejauh yang diperlukan. *Roller* digerakkan oleh *cam* yang dipasang pada *slide* mesin.

4. Mekanisme *Hitch Feeds*

Mekanisme *hitch feed* dijalankan oleh *cam* yang mirip dengan *roller feed*, tetapi menggunakan kekuatan *spring* untuk menggerakkan *gripper* ke satu arah. Lalu, *gripper* akan kembali ke posisi awal oleh kekuatan *spring*.

5. Mekanisme *Air Feeder*

Menggunakan tenaga angin sebagai penggeraknya. Karena itu ketersediaan dan konsistensi sumber tenaga angin menjadi faktor utama supaya *air feeder* dapat berfungsi secara optimal.

ii. Mekanisme *Feeding Sheet Metal* dalam Bentuk Lembaran (*Sheet*)

1. *Manual Feeding*

Cara ini paling banyak digunakan pada industri yang kapasitas produksinya relatif tidak terlalu banyak dan biaya tenaga kerja yang masih kompetitif. Dengan metode ini akan diperlukan lebih banyak operator, karena untuk proses *manual feeding* sendiri dibutuhkan satu operator khusus, dan operator lain untuk mesin.

2. Hopper Feeding

Mekanisme ini digunakan untuk produk yang kecil dan sudah menjadi *blank*. Aliran material terjadi karena adanya tenaga vibrasi atau gerakan berputar dengan alur yang menyudut.

3. Dial Feeds

Sama dengan *hopper feeding*, mekanisme ini juga diperuntukkan bagi produk kecil, tetapi rata-rata produk yang lebih besar dari *hopper feeding*. *Part* yang akan diproses dimasukkan secara manual ke dalam lubang *dial* (plat berbentuk bulat yang sudah dilubangi). *Dial* akan bergerak berputar mengikuti gerakan turun naik dari *slide* mesin *press*. Keuntungan dari mekanisme ini adalah keamanan untuk operator terjamin dan kerjanya lebih cepat.

4. Magazine Feeds

Mekanisme ini untuk *part* dengan ukuran agak besar. Material dimasukkan ke dalam suatu alur yang miring dan dengan gaya gravitasi, material akan turun sendiri. Kemudian dapat digunakan *air cylinder* untuk mendorong material pada posisi yang sudah ditentukan.

c. Press Dies

Press dies adalah cetakan yang berfungsi untuk memotong dan membentuk material-material berbahan dasar logam (*sheet metal*) sehingga menjadi produk yang disebut sebagai *sheet metal product*. Proses memotong dan membentuk tersebut dilakukan dengan menggunakan mesin *press*. *Press dies* itu sendiri digunakan untuk *massproduction* dan menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten. Berikut adalah bagian-bagian dari *press dies*.

i. Bagian-Bagian Press Dies

1. Upper Plate / Top Plate

Bagian ini merupakan bagian teratas dari *press dies*. Fungsi *upper / top plate* adalah untuk menyangga *punch*, *stripper plate*, dan *upper holder*. Pada *upper plate* juga terdapat lubang untuk *shank* yang berfungsi untuk mengikat *press dies* pada mesin *press*.

2. Lower Plate / Bottom Plate

Merupakan bagian bawah *press dies* yang menyangga *die*, *lower holder*, dan *stripper plate*. Pada *bottom plate* dapat diberikan lubang apabila *press dies* tidak menggunakan *lower dies shoe*. Lubang tersebut jarak dan ukurannya bergantung pada spesifikasi mesin yang berfungsi sebagai *clamping* untuk memastikan *press dies* tidak bergerak selama proses produksi berjalan.

3. Punch

Merupakan pisau pemotong atas atau cetakan laki-laki (*male*) dari *press dies* yang terikat pada *upper plate* dan terbuat dari material *tool steel*. *Punch* harus dikeraskan dengan derajat kekerasan antara 58-62 HRc.

4. Die

Merupakan pisau pemotong bagian bawah atau cetakan perempuan (*female*) pada *press dies* yang terikat pada *lower plate* dan terbuat dari material *tool steel*. *Die* harus dikeraskan dengan derajat kekerasan antara 58-62 HRc.

5. Stripper Bolt

Stripper bolt berfungsi sebagai pemegang *stripper plate* yang bergerak pada batas yang sudah ditentukan pada waktu mendesain *press dies*. Batas pergerakan pada *stripper bolt* dipengaruhi oleh kekuatan *spring* yang digunakan untuk menggerakkan *stripper plate*. *Stripper bolt* mempunyai ukuran standar dan terbuat dari bahan baja karbon.

6. Spring

Merupakan komponen standar yang fungsinya sebagai penggerak *stripper plate*, *ejector pin* dan *guide lifter*. Kekuatan *spring* yang digunakan ditentukan dari besar tonase mesin yang dipengaruhi dari jenis produk yang akan diproduksi.

7. Shank

Terpasang pada *top plate*. Fungsi utama *shank* adalah sebagai pengikat *press dies* dengan mesin *press*. Selain itu *shank* berfungsi untuk menentukan pusat dari *press dies* sebagai patokan untuk mendesain *press dies*. Pada umumnya *press dies* diikat pada mesin *press* dengan sistem *clamping*.

8. Guide Pin

Terikat pada *lower plate* yang akan masuk dengan *sliding-fit* pada lubang *guide bush*. Fungsi *guide pin* dan *guide bush* adalah sebagai pelurus antara *punch* dan *die* sehingga tidak perlu dilakukan *setting* ulang pada saat *press dies* akan digunakan. *Guide pin* dan *guide bush* merupakan satu pasangan pada komponen *guide post set*. Pemasangan *guide post set* minimal 2 set pada setiap *press dies*. Persamaan untuk mendapatkan diameter *guide pin* dan *guide bush* menggunakan persamaan euler dengan kondisi jepit-jepit.

$$I_{min} = \frac{FVLk^2}{\pi^2 E} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- Lk = Panjang tekuk (mm)
- F = Gaya tekan (kg/N)
- V = Faktor keamanan (%)
- E = Modulus elastis (N/mm²)

9. Stripper Plate

Bagian dari *press dies* yang berfungsi untuk menahan material pada saat proses produksi agar tidak bergeser. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengeluarkan *waste* atau produk jadi apabila terikat pada *punch* atau *die*. Mekanisme *stripper plate* menggunakan *spring*.

10. Stroke End Blocks

Fungsi *stroke end blocks* adalah untuk mencegah jarak pemotongan atau pembentukan dari *press dies* agar tidak terlalu dalam sehingga akan merusak material yang sudah berada dalam *press dies*.

11. Silinder Hidrolik

Silinder hidrolik adalah sebuah alat aktuator mekanik yang menghasilkan gaya searah melalui gerakan *stroke* yang searah, alat ini menjadi salah satu bagian dari sistem hidrolik selain pompa dan motor hidrolik. Persamaan untuk silinder hidrolik sebagai berikut :

$$F = P \times A \quad (2.4)$$

Diketahui:

F = Gaya (N)

P = *Pressure* (N/mm²)

A = Luasan tekan (mm²)

12. *Power Pack*

Power pack berfungsi untuk mengalirkan cairan fluida ke seluruh komponen sistem hidrolik untuk mentransfer tenaga yang diberikan oleh penggerak awal. Persamaan untuk *power pack* adalah sebagai berikut:

$$V = Q / (\text{jumlah selang}/2) \times A \text{ selang} \quad (2.5)$$

Diketahui:

V = kecepatan gerak piston (mm/menit)

Q = Debit *power pack* (liter/menit)

A selang = Luasan selang Hidrolik (mm²)

Dari persamaan diatas dapat ditentukan jenis dari *power pack* yang akan digunakan.

2.2.6. Metode Perancangan

Metode perancangan merupakan prosedur, teknik, bantuan atau peralatan untuk merancang. Metode perancangan menggambarkan aktifitas dengan jelas yang memungkinkan perancang menggunakan dan mengkombinasikan proses secara keseluruhan. Walaupun beberapa metode perancangan masih konvensional, telah terjadi pertumbuhan yang penting pada beberapa tahun ini, dimana prosedur yang sudah tidak konvensional dikelompokkan sendiri dan dikenal dengan metode perancangan. Metode kreatif adalah metode perancangan yang bertujuan untuk membantu menstimulasi pemikiran kreatif dengan cara meningkatkan produksi gagasan, menyisihkan hambatan mental terhadap kreatifitas, atau memperluas area pencarian solusi (Cross, 1994). Ada beberapa jenis metode kreatif yang dikenal, yaitu:

a. *Brainstorming*

Brainstorming dapat didefinisikan sebagai suatu cara untuk mendapatkan banyak ide dari sekelompok manusia dalam waktu yang sangat singkat. Tujuan metode ini adalah menstimulasi kelompok untuk menghasilkan sejumlah besar gagasan dengan cepat. Personil yang terlibat sebaiknya tidak homogen, memiliki kemampuan

dan keahlian yang beragam, serta memahami persoalan yang dihadapi dan aturan yang berlaku dalam *brainstorming*. Berikut adalah beberapa aturan yang berlaku:

- a. Kelompok tidak boleh bersifat hierarkial dan terdiri dari 4 - 8 orang.
- b. Kelompok diharapkan menghasilkan jumlah gagasan sebanyak mungkin.
- c. Tidak diperbolehkan memberikan kritik pada setiap gagasan.
- d. Gagasan yang aneh tetap diterima.
- e. Gagasan dinyatakan dengan singkat dan jelas.
- f. Dilaksanakan dalam suasana yang rileks, tenang dan bebas.
- g. Durasi kegiatan sebaiknya tidak lebih dari 30 menit.
- h. Cara *brainstorming* terbagi menjadi tiga, yaitu:
 - i. *Verbal Brainstorming*, pengumpulan ide dengan para peserta dikumpulkan kemudian bergantian mengemukakan idenya secara verbal dan dicatat.
 - ii. *Nominal Brainstorming*, pengumpulan ide dengan para peserta dikumpulkan kemudian bergantian mengemukakan dan melakukan pemungutan suara untuk menentukan hasilnya.
 - iii. *Electrical Brainstorming*, pengumpulan ide dengan dibantu perangkat elektronik.

b. Syntetics

Syntetics adalah suatu aktivitas kelompok yang mencoba menciptakan, mengkombinasikan, dan mengembangkan gagasan-gagasan untuk memberikan solusi kreatif terhadap permasalahan melalui penggunaan melalui analogi. Tujuannya adalah mengarahkan pemikiran spontan ke arah eksplorasi dan transformasi masalah-masalah prancangan (James, 1991).

Ciri-ciri *syntetics* adalah tidak mengenal adanya kritik terhadap ide orang lain, pencapaian akhir berupa suatu solusi tunggal yang diawali dari pernyataan permasalahan dari klien, dan membangkitkan analogi peserta. Analogi digunakan untuk membantu pendekatan mengenai hal-hal atau istilah-istilah asing dan membuka batas imajinasi sehingga dapat memperluas kemungkinan pengembangan ide. Dibandingkan dengan *brainstorming*, *syntetics* lebih fokus pada upaya untuk menghasilkan solusi tunggal yang spesifik, tidak memunculkan ide sebanyak mungkin.

Metode pelaksanaan *syntetics* meliputi:

- a. Membentuk kelompok yang terdiri dari anggota yang telah dipilih.
- b. Melatih anggota kelompok mengenai penggunaan analogi untuk membangkitkan pemikiran spontan otak terhadap persoalan.
- c. Menjelaskan permasalahan pada anggota kelompok seperti yang telah diungkapkan oleh klien.
- d. Menggunakan banyak analogi, seperti analogi langsung, analogi personal, analogi simbolik, dan analogi fantasi.
- e. Perluasan daerah penelitian
- f. Suatu kondisi normal dari batas mental untuk berpikir kreatif adalah untuk mengambil batas tipis sampai pada suatu pemecahan masalah yang dicari. Beberapa teknik kreatifitas merupakan bantuan untuk memperluas area penelitian meliputi transformasi, masukan acak, dan perancangan banding.

c. Proses Kreatif

Rangkaian pemikiran yang sering kali terjadi pada pola pikir kreatif, dimana memiliki pola umum menurut para psikolog. Pola-pola tersebut antara lain:

- a. *Recognition* adalah realisasi atau pengakuan mengenai adanya masalah.
- b. *Preparation* adalah penerapan dari usaha yang dilakukan untuk memahami masalah tersebut.
- c. *Incubation* adalah periode untuk meninggalkan pemikiran tersebut dalam pikiran, sehingga memicu kerja alam bawah sadar.
- d. *Illumination* adalah persepsi atau formulasi dari ide intinya.
- e. *Vetification* adalah kerja keras untuk mengembangkan dan menguji ide tersebut.

2.2.7. Morphology Chart

Morphology chart adalah suatu daftar atau ringkasan dari analisis perubahan bentuk secara sistematis untuk mengetahui bagaimana bentuk suatu produk dibuat. Dalam bagan ini akan di buat kombinasi dari berbagai kemungkinan solusi untuk membentuk produk-produk yang berbeda atau bervariasi.

Kombinasi berbeda dari sub solusi dapat dipilih dari bagan, sehingga memungkinkan untuk mencapai sebuah solusi baru yang belum teridentifikasi sebelumnya.

Morphology chart berisi elemen, komponen, atau sub solusi yang lengkap sehingga dapat dikombinasikan (Cross, 1989).

Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Masalah yang akan dipecahkan harus dirumuskan seakurat mungkin.
- b. Identifikasi semua parameter yang mungkin ada.
- c. Buat diagram morfologi dengan parameter sebagai baris.
- d. Isi kolom dengan komponen yang berhubungan dengan parameter tertentu, komponen dapat ditentukan dengan menganalisis produk sejenis maupun dengan menggunakan prinsip baru.
- e. Gunakan strategi evaluasi (analisa baris dan pengelompokan parameter) sebagai batasan solusi utama.
- f. Ciptakan solusi dengan menggabungkan setidaknya satu komponen dari masing-masing parameter.
- g. Hati-hati dalam mengevaluasi dan menganalisis solusi yang berkaitan dengan persyaratan desain, dan pilihlah beberapa solusi utama (minimal 3 solusi).
- h. Solusi utama yang dipilih akan dikembangkan secara rinci dalam bagian yang tersisa dalam proses desain.

2.2.8. Weighted Objective

Metode *Weighted Objective* ini menyediakan cara untuk memperkirakan dan membandingkan alternatif perancangan yang menggunakan perbedaan pembobotan obyektif. Metode ini menetapkan pembobotan numerik untuk obyektif dan nilai numerik untuk pelaksanaan alternatif perancangan yang diukur terhadap obyektif. Tujuan metode ini adalah untuk membandingkan nilai-nilai kegunaan usulan perancangan alternatif pada basis pelaksanaan terhadap perbedaan pembobotan obyektif. Langkah-langkah dalam evaluasi alternatif menggunakan metode *Weighted Objective* adalah:

- a. Pilih kriteria berdasarkan persyaratan yang telah dilakukan dengan tim kreatif. Pilihlah 3 sampai 5 konsep untuk diseleksi.
- b. Menetapkan bobot untuk tiap kriteria, masing-masing kriteria harus sesuai dengan kebutuhan dari tim kreatif, untuk menentukan faktor bobot kriteria disarankan membandingkan tiap kriteria (peringkat bobot dapat berupa skala 1 sampai 5 atau memutuskan seluruh jumlah bobot misal 100 atau 1).

- c. Buatlah matriks dengan kriteria sebagai baris dan solusi sebagai kolom.
- d. Tentukan nilai atribut bagaimana solusi dapat memenuhi kriteria.
- e. Hitung nilai keseluruhan setiap konsep dengan menjumlahkan skor pada setiap kriteria.
- f. Solusi dengan skor tertinggi adalah solusi yang akan dipilih.

2.2.9. Design For Manufacturing (DFM)

Ulrich (2001) menyatakan bahwa biaya manufaktur merupakan penentu utama dalam keberhasilan ekonomis dari produk. Secara ekonomis, rancangan yang berhasil tergantung dari jaminan kualitas produk yang tinggi, sambil meminimasi biaya manufaktur. DFM adalah suatu metode untuk mencapai tujuan ini. Pelaksanaan DFM yang efektif mengarahkan pada biaya manufaktur yang rendah tanpa mengorbankan kualitas produk.

Design For Manufacturing (DFM) membutuhkan suatu tim yang secara fungsional saling berhubungan. Perancangan untuk proses manufaktur merupakan salah satu dari pelaksanaan yang paling terintegrasi yang terlibat dalam pengembangan produk. DFM menggunakan informasi dari berbagai tipe, di antaranya:

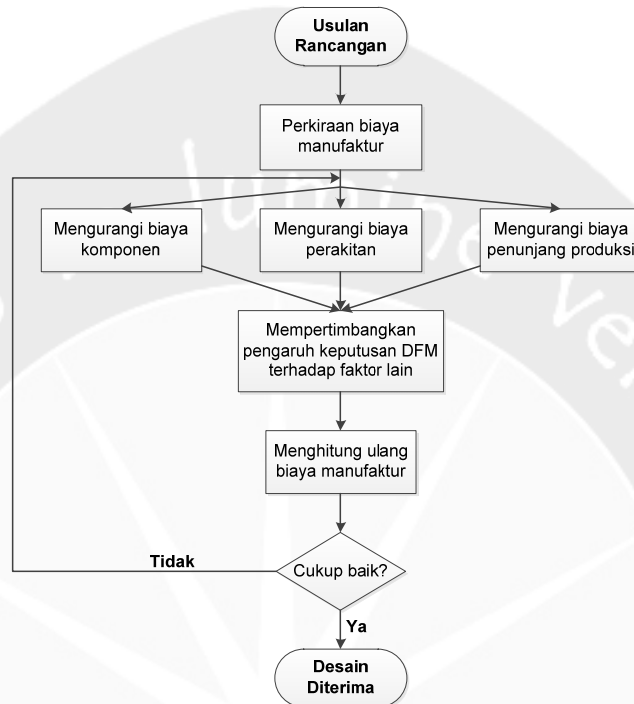
- a. Sketsa, gambar, spesifikasi produk dan alternatif-alternatif rancangan
- b. Suatu pemahaman detail tentang proses produksi dan perakitan
- c. Perkiraan biaya dan volume produksi, serta waktu peluncuran produk

Oleh karenanya *Design For Manufacturing* (DFM) membutuhkan peran serta yang sangat baik dari anggota tim pengembang. Upaya-upaya *Design For Manufacturing* umumnya membutuhkan ahli-ahli:

- a. Insinyur manufaktur
- b. Akutansi biaya
- c. Personil produksi
- d. Perancang produk

DFM dimulai selama tahapan pengembangan konsep, sewaktu fungsi-fungsi dan spesifikasi produk ditentukan. Ketika melakukan pemilihan suatu konsep produk, biaya hampir selalu merupakan satu kriteria untuk pengambilan keputusan, walaupun perkiraan biaya pada tahap ini sangatlah subyektif dan merupakan

pendekatan. Ketika spesifikasi produk difinalisasi, tim membuat pilihan (*trade-off*) di antara karakteristik kinerja yang diinginkan.



Gambar 2.34. Metode *Design For Manufacturing* (DFM)
(Ulrich & Eppinger, 2001, hal 225)

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.34, metode DFM dimulai dengan perkiraan biaya manufaktur dari rancangan yang diusulkan. Hal ini membantu tim untuk menentukan suatu tingkatan umum dimana aspek-aspek perancangan meliputi komponen, rakitan, atau komponen pendukung penting lainnya. Tim kemudian menaruh perhatian pada area tertentu dalam tahapan yang berurutan. Proses ini merupakan proses yang berulang. Tidak umum untuk menghitung kembali perkiraan biaya manufaktur serta memperbaiki rancangan produk lusinan kali sebelum menyetujui bahwa rancangan tersebut cukup baik. Ketika rancangan produk diperbaiki, iterasi DFM ini mungkin dilanjutkan hingga dimulainya proses produksi. Pada beberapa poin, hasil rancangan yang telah ditetapkan dan beberapa modifikasi lainnya dipergunakan sebagai perubahan secara teknis atau menjadi bagian dari pengembangan produk selanjutnya.

Metode DFM terdiri dari 5 langkah:

- a. Memperkirakan biaya manufaktur
- b. Mengurangi biaya komponen
- c. Mengurangi biaya perakitan
- d. Mengurangi biaya pendukung produksi
- e. Mempertimbangkan pengaruh keputusan DFM pada faktor-faktor lainnya.

a. Memperkirakan Biaya Manufaktur



Gambar 2.35. Elemen Biaya Manufaktur Produk (Ulrich & Eppinger, 2001, hal 227)

Pada gambar 2.35 menunjukkan suatu cara dalam mengategorikan elemen-elemen biaya manufaktur. Pada pembahasan ini, biaya manufaktur suatu produk yang terdiri dari tiga kategori:

- i. Biaya komponen: Komponen dari suatu produk termasuk komponen standar yang dibeli dari *supplier*. Contohnya adalah motor, *chip* elektronik, dan sekrup. Komponen *custom* adalah komponen yang dibuat berdasarkan pesanan sesuai rancangan pembuat dari material mentah.
- ii. Biaya perakitan: Barang diskrit biasanya dirakit dari beberapa komponen. Biaya perakitan meliputi biaya tenaga kerja, biaya peralatan & perlengkapan.
- iii. Biaya-biaya *overhead*: *Overhead* merupakan kategori yang digunakan untuk mencakup biaya lain-lainya.

Komponen	Material yang Dibeli	Pemrosesan (Mesin + T. Kerja)	Perakitan (T. Kerja)	Total Biaya Variabel per unit	Peralatan & Biaya tidak berulang lainnya, KS	Umur pakai peralatan, K unit	Total Biaya Tetap per unit	Biaya Total
Saluran Udara								
Mesin cor	12.83	5,23		18.06	1960	500+	0.50	18.56
Pipa pengembalian EGR	1.30		0.15	1.45				1.45
Perangkat PCV								
Katup	1.35		0.14	1.49				1.49
Paking	0.05		0.13	0.18				0.18
Penutup	0.76		0.13	0.89				0.89
Sekrup (3)	0.06		0.15	0.21				0.21
Rakitan Blok Sumber Ruang Hampa								
Blok	0.95		0.13	1.08				1.08
Paking	0.03		0.13	0.08				0.08
Sekrup	0.02		0.09	0.11				0.11
Total Biaya Langsung	17.35	5.23	0.95	23.52	1960		0.50	24.03
Beban Overhead	2.60	9.42	1.71				0.75	14.48
Biaya Total								38.51

Gambar 2.36. Contoh *Bill Of Material* (BOM) (Ulrich & Eppinger, 2001, hal 22)

Perkiraan biaya manufaktur, yang merupakan dasar untuk DFM, digunakan untuk menyimpan informasi ini secara teratur. Gambar 2.36 menunjukkan suatu sistem informasi untuk pencatatan perkiraan biaya manufaktur. BOM adalah suatu daftar tiap komponen produk, yang terdiri dari suatu daftar material (*Bill Of Material* / BOM) dan dilengkapi dengan informasi biaya. BOM juga dibuat dengan menggunakan format tertentu dimana rakitan struktur pohon digambarkan dengan dilengkapi nama komponen dan sub-rakitannya.

Kolom pada BOM menunjukkan perkiraan biaya yang terdiri dari biaya tetap dan biaya variabel. Biaya variabel mencakup biaya material, penggunaan mesin, dan upah. Biaya tetap terdiri dari peralatan dan biaya yang tidak berulang seperti peralatan khusus dan biaya *set up*. Umur pakai peralatan digunakan untuk menghitung biaya tetap per unit (jika umur pakai peralatan yang diharapkan tidak melampaui volume umur pakai produk, dimana digunakan kasus volume produk yang lebih rendah). Untuk menghitung biaya total, *overhead* ditambahkan sesuai dengan gambaran perhitungan biaya yang diharapkan.

b. Mengurangi Biaya Komponen

Untuk produk diskrit yang sangat bersifat teknik, biaya komponen yang dibeli akan menjadi elemen penting biaya manufaktur. Bagian ini menginformasikan beberapa strategi untuk meminimalkan biaya tersebut.

i. Memahami Batasan Proses dan Dasar Biaya

Beberapa komponen mungkin dapat ditentukan harganya secara sederhana, karena desainer tidak memahami kebutuhan biaya dasar, dan batasan-batasan proses produksi. Seorang desainer mungkin juga menetapkan dimensi dengan toleransi yang terlalu ketat, tanpa mempertimbangkan kesulitan untuk memperoleh akurasi tersebut dalam proses produksinya. Perancangan ulang komponen diharapkan bisa mendapatkan kinerja yang sama sambil menghindari langkah manufaktur yang menimbulkan biaya lebih. Desainer harus mengetahui operasi apa yang sulit dilakukan dalam kegiatan produksi, dan berapa biaya dasarnya.

Strategi terbaik untuk proses yang tidak mudah dikerjakan adalah dengan bekerja langsung dengan personil yang benar-benar memahami proses produksi yang dimaksud. Ahli-ahli manufaktur cenderung memiliki banyak ide tentang perancangan ulang komponen untuk mengurangi biaya produksi.

ii. Merancang Ulang Komponen untuk Mengurangi Langkah Proses

Kecermatan rancangan yang diusulkan akan menghasilkan usulan rancangan baru yang dapat menghasilkan penyederhanaan proses produksi. Pengurangan jumlah langkah dalam proses manufaktur dapat menghasilkan pengurangan biaya. Mungkin ada berapa tahapan proses yang tidak diperlukan. Sebagai contoh, komponen aluminium mungkin tidak harus dicat, khususnya jika tidak dapat dilihat secara langsung oleh konsumen. Pada beberapa kasus, beberapa tahap mungkin dapat dikurangi dengan substitusi oleh tahapan proses alternatif.

iii. Pemilihan Skala Ekonomi yang Sesuai untuk Proses Komponen

Biaya manufaktur untuk suatu produk biasanya turun bila volume produksi meningkat. Gejala ini dinamakan skala ekonomi. Skala ekonomi untuk suatu komponen yang dibuat terjadi alasan berikut:

1. Biaya tetap dibagi oleh jumlah unit yang lebih banyak
2. Biaya variabel menjadi lebih rendah karena perusahaan dapat mempertimbangkan penggunaan proses dan peralatan yang lebih luas dan efisien.

iv. Menstandarisasi Komponen dan Proses

Prinsip skala ekonomis juga digunakan dalam pemilihan komponen dan proses. Jika volume produksi di tambah, biaya per unit komponen akan berkurang.

c. Mengurangi Biaya Perakitan

Perancangan untuk perakitan (*Design For Assembly/DFA*) juga dianggap sebagai bagian dari DFM yang berisi tentang minimasi biaya perakitan. Pada bagian ini, akan dijelaskan mengenai beberapa prinsip yang berguna untuk mengarahkan keputusan DFM:

- i. Menyimpan angka
- ii. Mengintegrasikan komponen
- iii. Jika suatu komponen tidak memiliki kualitas yang diperlukan secara teoritis, maka akan terdapat kandidat pengganti untuk menggabungkan satu atau lebih lebih komponen.
- iv. Memaksimalkan kemudahan perakitan
- v. Karakteristik ideal komponen dari suatu rakitan adalah:
- vi. Komponen dimasukkan dari bagian atas perakitan
- vii. Komponen lurus dengan sendirinya
- viii. Komponen tidak harus diorientasikan
- ix. Komponen hanya butuh satu tangan untuk merakit
- x. Komponen tidak membutuhkan peralatan
- xi. Komponen dirakit dengan gerakan linear dan tunggal
- xii. Komponen terkunci dengan segera setelah penggabungan

d. Mengurangi Biaya Overhead

Dalam upaya untuk mengurangi biaya komponen dan biaya perakitan, tim juga akan mencapai pengurangan dalam permintaan fungsi pendukung produksi. Sebagai contoh, suatu pengurangan jumlah komponen mengurangi permintaan untuk manajemen persediaan. Suatu pengurangan dalam isi rakitan mengurangi jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk produksi sehingga mengurangi biaya pengawasan dan manajemen sumber daya manusia. Komponen standar mengurangi permintaan dukungan teknik dan pengendalian kualitas. Terdapat tambahan beberapa tindakan langsung oleh tim untuk mengurangi biaya pendukung produksi.

e. Mempertimbangkan Pengaruh Keputusan DFM pada Faktor Lainnya

Mengurangi biaya manufaktur bukan satu-satunya sasaran dari proses pengembangan produk. Keberhasilan pengembangan produk juga tergantung dari terjaganya kualitas produk, serta berkurangnya waktu pengerjaan dan biaya pengembangan produk.

i. Pengaruh DFM Terhadap Waktu Pengembangan

Waktu pengembangan dapat menjadi sangat penting. Keputusan DFM harus dievaluasi untuk melihat pengaruhnya pada waktu pengembangan, seperti pengaruh juga terhadap biaya manufaktur.

ii. Pengaruh DFM Terhadap Biaya Pengembangan

Biaya pengembangan berbanding lurus dengan waktu pengembangan. Maka, harus diperhatikan keterkaitan dan kerumitan hubungan keduanya serta waktu pengembangan dibutuhkan untuk biaya pengembangan tertentu.

iii. Pengaruh DFM Terhadap Kualitas Produk

Sebelum melakukan keputusan DFM, tim seharusnya mengevaluasi pengaruh keputusan pada kualitas produk. Tindakan dari hasil keputusan DFM seharusnya mampu untuk mengurangi biaya manufaktur juga akan memperbaiki kualitas produk.

iv. Pengaruh DFM Terhadap Faktor-Faktor Eksternal

Keputusan perancangan mungkin memiliki dampak yang melebihi tanggung jawab satu tim pengembangan. Dari sisi ekonomis, dampak ini mungkin dianggap sebagai masalah eksternal. Dua masalah eksternal yang sering ditemui adalah komponen yang digunakan kembali dan biaya umur pakai.